

論 文

형상을 통한 수동형 레이더 리플렉터의 RCS 증대방법 연구

임정빈* · 김우숙* · 안영섭* · 김인현* · 박성현* · 김창경** · 심영호** · 김봉석***

A Study on the RCS Enhancement Method of Passive RADAR Reflector Through Shaping

*Jeong-Bin Yim · Woo-Suk Kim · Young-Sub Ahn · In-Hyen Kim
Sung-Hyeon Park · Chang-Kyeong Kim · Young-Ho Sim · Bong-Suk Kim*

Abstract

Collision avoidance is the most important part of a small vessel. Small and medium sized ships are surprisingly poor targets for radar reflection and are frequently in danger of being overrun by large vessels, even under good condition of visibility. One of the best way to prevent collisions at sea is to use as large and well designed a radar reflector. Thus, RCS(Radar Cross Section) increase is key element in the design of radar reflector. Radar Reflectors are normally classified into active-type and passive-type. In this paper, the RCS increase methods for passive-type reflector through shaping are explained, and analyzed with RCS performance test by computer simulation. As results from analysis, it is shown that the effective diameter of radar reflector is over 10λ to provide a return above the threshold RCS of $2.5m^2$, lower limit of detectability using X-band radar in a moderate sea.

1. 서 론

2001년 해양수산부 자료에 의하면 국내 소형어선은, 목선이 80% 이상, FRP 선이 20% 내외, 강선이 1% 이내를 차지하고 있다. 이러한 소형 목선과 FRP 선은 크기가 작고, 선체구성 물질이 레이더(Radar) 전자파 반사강도를 약하게 만들기 때문에 레이더 탐지가 불가능하여 선박과의 충돌, 어망 파손 등의 해양안전사고를 유발하고 있다. 이러한 유

형의 해양안전사고는 전체사고 중에서 가장 큰 비율로 발생하고 있다. 한편, 국내 소형 어선의 경우 선장, 기관장, 부원을 포함한 모든 선원이 어로행위에 종사하기 때문에 견시와 당직 소홀로 많은 해난사고가 발생하는 것으로 발표되고 있다. 따라서, 소형 어선에 우수한 장비를 설치하더라도 견시를 소홀히 할 수밖에 없는 국내 어업환경을 고려한다면, 적극적인 방어수단으로서 소형, 저가, 반영구적인

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

** 목포해양대학교 대학원 해상운송시스템학과 박사과정

*** 목포해양대학교 대학원 해상운송시스템학과 석사과정

레이더 반사장치를 시급히 개발하여 어선에 장착하는 것이 가장 유효한 해난사고 예방책이라 사료된다 [1]-[3].

소형 선박의 레이더 반사능력을 증가시키기 위해서는 선박의 크기를 크게 하거나 선박 구성 물질을 강철과 같은 도체로 건조하면 되지만, 이 방법은 현실적인 대안이 될 수 없다. 현실적으로 저렴하면서 간편한 레이더 전파반사능력 증강방안은 레이더 리프랙터(Reflector)를 사용하는 것이다. 리프랙터는 해상에서 소형 선박이나 소형 부위(buoy) 등에 장착하여 레이더 전자파를 강하게 반사시키는 장치로서 능동식(Active-type)과 수동식(Passive-type)이 있다.

능동식 리프랙터는, 수신한 레이더 전자파를 전기적으로 증폭한 후 반사시키기 때문에 강력한 에너지 전자파를 발생한다. 그러나, 내부 전자회로와 배터리가 필요하여 고가이고, 장치가 크며, 반영구적이고, 설치가 불편해서 소형 어선 및 어업용으로 는 적용이 곤란한 문제점이 있다[3],[4]. 반면, 수동식 리프랙터는 전자회로 없이 특수한 전자파 반사 물질과 특수 구조로 구성되어있다. 이러한 수동식 리프랙터는 일반적으로 능동식 리프랙터와 비교하여 반사 에너지가 작아서 탐지능력이 작지만, 리프랙터의 형상과 물질을 최적으로 설계하는 경우, 레이더 전파 반사능력을 증가시킬 수 있다. 또한, 소형어선에 리프랙터를 장착하는 경우, 저가, 소형, 경량 및 편리한 장착 등의 조건이 필요함으로 능동식 보다는 수동식 리프랙터가 유리하다 [4]

레이더 탐지능력은 전자파의 유효반사면적(m^2)을 나타내는 RCS(Radar Cross Section)로 표시한다. RCS는 레이더 리프랙터를 사용하는 목적에 따라서 최대화 또는 최소화하게된다. 군함의 경우 적의 레이더 망으로부터 회피할 목적으로 RCS를 최소화한다. 반면, 소형 어선이나 해상용 부위, 어망 부위 등의 경우는 레이더 탐지능력을 증가하기 위하여 RCS를 극대화한다[13~16]. 이러한 RCS 극대화 방법 중, 형상을 이용한 측면세너는 3측면 고갈모양의 코너 리프랙터(Corner Reflector)를 단일 또는

다중 집합한 리프랙터가 있다[9]. 물질로는 루네버그 렌즈(Luneberg Lens)와 같은 유전체 렌즈(Di-electric Lens)를 이용하는 방법이 연구 개발되고 있다 [5],[6].

일반적으로 원양구역을 항해하는 선박에는 1974 SOLAS (International Convention for the Safety of Life At Sea, 1974: 1974년 국제해상인명안전협약)에 의거하여 S-band 와 X-band 등 두 가지 밴드의 레이더를 장착하고 있다. S-band 레이더는 3GHz(10cm 파장)의 전자파를 이용하며 장거리 측정에 사용하고, X-Band 레이더는 9.4GHz(3.2cm 파장)의 전자파를 이용하며 단거리 측정에 사용한다. 소형선박이 항해하는 연안에서는 작은 물체를 탐지하기 위하여 X-band 레이더를 사용하고, S-band 레이더는 보조용으로 사용한다. 따라서, 리프랙터는 주로 X-band에 민감하게 반응하는 형태로 설계하고 있다 [7].

한편, RCS의 증가 또는 저감에 관한 연구는 국방분야와 밀접한 관련이 있기 때문에 선진국에서는 리프랙터 개발 관련기술을 극비로 하면서 해외 유출을 금지하여 국내 기술도입은 불가능한 실정이다. 예로서, 아르헨티나의 포크랜드(Falkland) 전쟁시 영국은 군함 보호를 위하여 RCS를 극대화시킨 유도물체를 개발하여 엑소세(Exocet) 미사일 회피장치로 사용한 바 있다. 미국, 독일, 일본 등에서도 RCS 관련 연구는 국방 보호기술로 정하여 극비에 연구되고 있다. 국내의 경우, RCS 관련 연구는 육·해·공군의 제한된 분야에서 진행되고 있으나, 주로 외국 장치의 도입검토에 머무는 수준이다. 그리고, 연구대상이 해상에서의 레이더 및 리프랙터라는 제한된 분야이기 때문에 소수의 선박관련 전자 및 전파 전문가에 의하여 진행되어 오고 있으나 그 실적이 저조한 실정이다. 그러나, 현재 국내 소형어선의 충돌 해난사고 건수와 해양에서의 많은 활용분야를 고려한다면, 리프랙터 연구 개발의 중요성은 크다. 또한, 리프랙터 연구 개발은 국내 소형어선의 해난사고 방지에 적극 기여할 수 있을 뿐만 아니라 해상용 부위, 어망 부위 등과 같은 해상 구조물의 탐지능력 확대에 따

른 어장 보호에도 유용하게 적용될 수 있기 때문에 소형, 저가, 영구적이면서 RCS를 극대화한 수동식 리프렉터의 기술개발이 시급하다 [8]-[10].

또한, 리프렉터를 소형선박의 마스트나 깃대 위에 부착하는 경우 낙뢰에 의한 피해를 방지하기 위하여 낙뢰방지 시스템이 필요하다. 그리고, 소형어선과 같이 롤과 피칭(Roll and Pitching)이 심한 경우에는 리프렉터가 레이더 스캐너(scanner) 면과 어긋나서 RCS가 현격하게 저하되기 때문에 선체요동에 의한 RCS 변동방지 대책도 필요하다 [11].

이 연구에서는 고성능 리프렉터를 개발하기 위한 기초 연구로서, 리프렉터에 사용할 반사체의 형태를 정하고, 전세계적으로 상용되고 있는 다양한 리프렉터의 구조를 분석하여 최적 리프렉터를 설계하기 위한 방안을 모색하였다. 그리고, 다양한 형태의 레이더 반사 물체에 대한 RCS 이론 식을 구한 후, 시뮬레이션을 통해서 최적 형태를 갖는 리프렉터 모형을 제시하고자한다.

2. 레이더 리프렉터 설계 고려사항

2.1. 항해용 레이더 특성

항해용 레이더는 X-band 와 S-band 레이더로 구분된다. 원양구역을 항해하는 상선은 두 가지 밴드 모두를 SOLAS 규정에 의거하여 장착하고 있으며, 소형선박의 경우 S-band 레이더보다 소형인 X-band 레이더를 장착하고 있다. X-band 레이더는 파장이 3.2cm인 9.4GHz를 전파하고, S-band 레이더는 X-band 레이더 보다 더 긴 10cm 파장의 3.0GHz를 전파한다. X-band 레이더는 파장이 S-band 레이더에 비하여 짧기 때문에 분해능이 더 우수하고, 더 작은 물체를 탐지할 수 있는 장점이 있으나, 비나 해면반사에 의한 간섭의 영향을 많이 받는 단점이 있다. 반면, S-band 레이더는 X-band 레이더보다 긴 거리에 있는 물체를 탐지할 수 있고, 비나 해면반사의 영향을 덜 받는 장점이 있으나, 작은 물체에 대해서는 감도가 떨어지는 단점을 갖는다.

대부분의 항해 선박은 연안에서, 고분해능과 소

형물체 탐지능력이 우수한 X-band 레이더를 사용한다. 원양에서 항해사들은 일반적으로 S-band 레이더를 사용하는데, 약 24mile 레인지에 레이더를 설정하여 사용하고 있다. 이러한 경우 S-band 레이더가 갖는 장거리탐지 능력과 비나 해면반사에 의한 간섭영향을 2.5배 (-4dB) 까지 줄일 수 있는 장점이 있다[]. 한편, 파장(λ)의 제곱에 비례하여 레이더 성능이 저하되는 것은 리프렉터의 경우 치명적인 단점이다. 이론적으로 S-band 레이더는 파장이 X-band 레이더와 비교하여 3.125배(10cm/3.2cm) 길기 때문에 3.125의 제곱인 9.77배 즉, 약 1/10 (-10dB)의 성능감소를 가져온다.

2.2. 레이더 리프렉터 성능

레이더 리프렉터의 성능은 일반적으로, 제곱미터(m^2)로 나타낸 레이더 유효반사면적(Radar Cross Section: RCS)으로 그 성능을 나타낸다. RCS(m^2) 측정은 그림 1과 같이 그 특성이 명확하게 규명된 금속구(metal sphere)를 기준으로 한다. 리프렉터의 성능을 기준과 비교한 데시벨(decibel: dB)로 나타내는 경우도 있는데, 일반적으로 1.0 m^2 의 금속구와 비교한다 [12],[13].

레이더 리프렉터 설계에서 중요한 것은 가능한 큰 RCS를 갖도록 하는 것이다. 정수 중 X-band

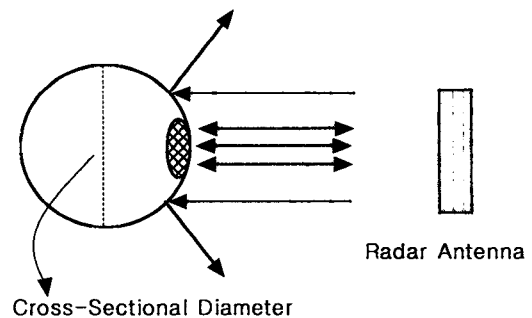


그림 1. 레이더 리프렉터 성능을 표시하기 위한 금속구. 리프렉터의 유효면적(m^2)은 어떠한 신호와 동일한 양의 신호를 반사시킬 수 있는 금속 구의 절단면적이 된다.

레이더를 사용했을 때의 탐지 가능한 RCS는 $1\text{m}^2 \sim 3\text{m}^2$ 로 알려져 있다[]. 유명한 Firdell Blipper 리프랙터를 제작했던 GEC Marconi 사는 2.5m^2 의 RCS를 X-band 레이더에서 탐지 가능한 문턱치(threshold value)로 제안한 바 있는데, 이 값은 상용 레이더에서 일반적으로 허용 가능한 범위를 나타낸다. 레이더 리프랙터에서 성능에 중요한 영향을 미치는 것은 크기(size)이다. 리프랙터에서 반사능력은 크기의 4승에 비례한다. 즉, 크기를 2배 증가하는 경우 유효면적은 16배 증가(즉 12dB)한다. 또한, 리프랙터 크기를 19% 크게 하는 경우 성능은 2배 ($0.19^4 = 2.0$)가 된다. 또한, 리프랙터의 크기가 레이더 신호의 수 파장 이내로 들어올 정도로 크기가 작은 리프랙터는 그 기능을 중지한다. 따라서, X-band 레이더의 경우 파장이 3.2cm 이고, S-band 레이더는 10cm 임을 고려하여 이 파장 보다 작은 물체를 탐지하는 경우 물체의 크기를 대신할 장치나 물질을 연구해야한다.

한편, ARPA(Automatic Radar Plotting Aids) 시스템의 성능을 증가시켜 물체 탐지 능력을 증가시키는 방법도 고려할 수 있다. ARPA는 자동으로 물체를 추적하고 획득하는 장치로서, 물체가 근접하는 경우 경보음을 울린다. 그러나, ARPA의 경우, 물체가 레이더 화면상에 나타날 때만이 탐지 가능하다는 점에 주목해야하며, 연속된 3점이 나타나는 경우에만 유효한 물체로 간주하고 있다. 따라서, ARPA를 이용하는 경우라도 우선, 탐지할 물체 자체에 리프랙터와 같이 반사전파 강도를 증가시킬 수 있는 장치를 장착해야만 ARPA에서 탐지 가능하다.

3. 리프랙터 RCS 분석

3.1. 단순한 레이더 타겟의 RCS

RCS(σ) 정의 식은 다음 식(1)과 같다.

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4 \pi R^2 \left| \frac{E_s}{E_i} \right|^2 = \lim_{R \rightarrow \infty} 4 \pi R^2 \left| \frac{H_s}{H_i} \right|^2 \quad \dots (1)$$

여기서, R 은 리프랙터와 레이더의 거리, E_s 와 H_s 는 리프랙터에서 산란된 전장과 자장을 나타내고, E_i 와 H_i 는 입사된 전장과 자장을 나타낸다.

이 연구에서는 리프랙터와 레이더의 거리 R 은 일정한 거리에 있는 것으로 가정하고, 리프랙터의 입사파와 반사파의 전장과 자장에 대한 강도의 비로서 RCS 이론을 전개하였다. 리프랙터에 사용되는 물체의 형태는 주로, 원형, 삼각형, 사각형의 평판을 여러개 조합하여 구성하게 된다. 이 연구에서도 원형, 삼각형, 사각형 물체에 대한 RCS(σ) 정의식을 정리한 후, 일반적으로 사용되고 있는 트리헤데랄(Tri-hederal) 형태의 리프랙터와, 옥차헤데랄(Octa-hederal) 형태의 리프랙터에 대한 RCS(σ)를 정의하여 시뮬레이션을 통한 성능평가를 시도하였다 [14]-[21].

(1) 원형 평판의 RCS

그림 2는 원점에 중심이 있고, 반경 r 을 갖는 원형 평판을 나타낸다. 좌우 대칭(circular symmetry) 특성을 갖기 때문에 후방산란되는 RCS(σ)는 수평각 ϕ 에 관계없이 고각 θ 에 대해서만 영향을 받는다.

원형판에 수직으로 전파가 입사될 때, RCS(σ)는 다음 식(2-a)와 같고,

$$\sigma = \frac{4 \pi^3 r^4}{\lambda^2}, \quad \theta = 0^\circ \quad \dots (2-a)$$

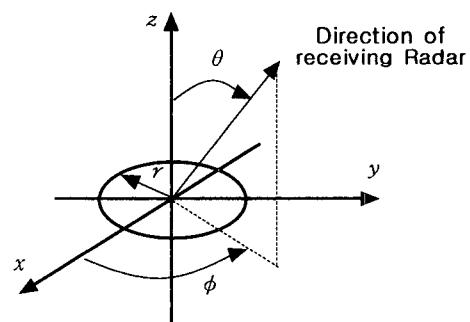


그림 2 원형 평면판의 좌표계.

그 외의 방향으로 입사되는 경우, 선형적으로 편광된 입사파에 대해서는 다음과 같은 두 가지 근사식 (2-b)와 (2-c)로 나타낼 수 있다.

$$\sigma = \frac{\lambda r}{8\pi \sin\theta (\tan\theta)^2}, \quad \theta \neq 0^\circ \quad \dots\dots\dots (2-b)$$

$$\sigma = \pi k^2 r^4 \left[\frac{2J_1(2kr \sin\theta)^2}{2kr \sin\theta} \right] (\cos\theta)^2, \quad \theta \neq 0^\circ \quad \dots\dots\dots (2-c)$$

(2) 사각 평판의 RCS

그림 3은 x-y 평면에 나타낸 사각 평판이다. 판의 두 개 면을 각각 2a와 2b로 나타냈다.

x-y 평면에 선형적으로 편광된 입사파에 대해서 수평 후방산란 RCS(σ_H)와 수직 후방산란 RCS(σ_V)는 다음 식과 같이 나타난다.

$$\sigma_V = \frac{b^2}{\pi} \left| \sigma_{1V} - \sigma_{2V} \left[\frac{1}{\cos\theta} + \frac{\sigma_{2V}}{4} (\sigma_{3V} + \sigma_{4V}) \right] \sigma_{5V} \right|^2 \quad \dots\dots\dots (3-a)$$

$$\sigma_H = \frac{b^2}{\pi} \left| \sigma_{1H} - \sigma_{2H} \left[\frac{1}{\cos\theta} + \frac{\sigma_{2H}}{4} (\sigma_{3H} + \sigma_{4H}) \right] \sigma_{5H} \right|^2 \quad \dots\dots\dots (3-b)$$

여기서, $k = 2\pi/\lambda$ 이고,

$$\sigma_{1V} = \cos(k a \sin\theta) - j \frac{\sin(k a \sin\theta)}{\sin\theta} = (\sigma_{1H})^* \quad \dots\dots\dots (3-c)$$

여기서, *는 복소공액(complex conjugate).

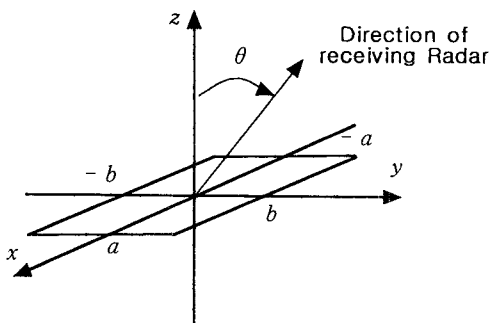


그림 3. 사각형 평면판의 좌표계.

$$\sigma_{2V} = \frac{e^{j(ka - \pi/4)}}{\sqrt{2\pi} (ka)^{3/2}} \quad \dots\dots\dots (3-d)$$

$$\sigma_{3V} = \frac{(1 + \sin\theta) e^{-j k a \sin\theta}}{(1 - \sin\theta)^2} \quad \dots\dots\dots (3-e)$$

$$\sigma_{4V} = \frac{(1 - \sin\theta) e^{j k a \sin\theta}}{(1 + \sin\theta)^2} \quad \dots\dots\dots (3-f)$$

$$\sigma_{5V} = 1 - \frac{e^{j(2ka - \pi/2)}}{8\pi (ka)^3} \quad \dots\dots\dots (3-g)$$

$$\sigma_{2H} = \frac{4e^{j(ka + \pi/4)}}{\sqrt{2\pi} (ka)^{1/2}} \quad \dots\dots\dots (3-h)$$

$$\sigma_{3H} = \frac{e^{-j k a \sin\theta}}{1 - \sin\theta} \quad \dots\dots\dots (3-i)$$

$$\sigma_{4H} = \frac{e^{j k a \sin\theta}}{1 + \sin\theta} \quad \dots\dots\dots (3-j)$$

$$\sigma_{5H} = 1 - \frac{e^{j(2ka + \pi/2)}}{2\pi (ka)} \quad \dots\dots\dots (3-k)$$

위의 식(3-a)과 식(3-b)은 $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 에 대해서 정확한 값을 계산할 수 있다. 고각 θ 와 수평각 ϕ 방향으로 입사되는 전파에 대해서 이상적으로 얇은 사각 평판에 대한 후방산란 RCS(σ)는 다음 식(3-m)과 같이 근사될 수 있다.

$$\sigma = \frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda} \left[\frac{\sin(ak \sin\theta \cos\phi)}{ak \sin\theta \cos\phi} \frac{\sin(bk \sin\theta \sin\phi)}{bk \sin\theta \sin\phi} \right]^2 (\cos\theta)^2 \quad \dots\dots\dots (3-m)$$

위의 식 (3-m)은 편광에 대해서 독립적이며 단, $\theta \leq 20^\circ$ 인 입사각에 대해서만 유효하다.

(3) 삼각 평판의 RCS

그림 4는 이등변 삼각 평판의 좌표계를 나타낸다. 그림 4에서 30° 이하의 작은 입사각을 고려하는 경우, 후방산란 RCS(σ)는 다음 식 (4-a)와 같이 근사될 수 있다.

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} (\cos\theta)^2 \sigma_0 \quad \dots\dots\dots (4-a)$$

여기서,

$$\sigma_0 = \frac{[(\sin a)^2 - (\sin(\beta/2))^2]^2 + \sigma_{01}}{a^2 - (\beta/2)^2} \quad \dots\dots\dots (4-b)$$

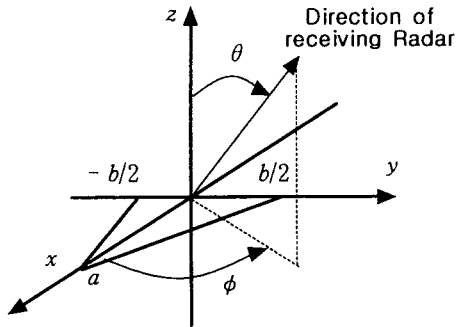


그림 4. 이등변 삼각 평판의 좌표계.

$$\sigma_{01} = 0.25 (\sin \phi)^2 [(2a/b) \cos \phi \sin \beta - \sin \phi \sin 2\alpha]^2 \quad (4-c)$$

그리고, $\alpha = k a \sin \theta \cos \phi$, $\beta = k b \sin \theta \sin \phi$,
 $A = ab/2$.

수평각 $\phi = 0$ 로 입사되는 전파에 대해서 위의 식(4-a)는 다음 식(4-d)와 같이 되고,

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} (\cos \theta)^2 \left[\frac{(\sin \alpha)^4}{a^4} + \frac{(\sin 2\alpha - 2\alpha)^2}{4a^4} \right] \quad (4-d)$$

수평각 $\phi = \pi/2$ 에 대해서는 다음 식(4-e)와 같이 된다.

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} (\cos \theta)^2 \left[\frac{(\sin(\beta/2))^4}{(\beta/2)^4} \right] \quad (4-e)$$

3.2 시뮬레이션

먼저, 원형 평판에 대한 식 (2-a)와 (2-c)를 이용하여 계산한 RCS 계산결과를 그림 5(a)에 나타냈다. 그리고, 사각형 평판에 대해서 수평 후방산란 σ_H 에 대한 식(3-a)과 수평각 θ 와 고각 ϕ 방향에 대한 근사식(3-m)을 이용한 RCS 계산결과를 그림 5(b)에 나타냈다. 그림 5(c)와 그림 5(d)는 이등변 삼각 평판에 대한 식(4-d)와 식(4-e)를 이용하여 계산한 결과로서, 그림 (c)는 고각 $\phi = 0$ 도일 때의 결과이고, 그림 (d)는 고각 $\phi = 90$ 도일 때의 결과이다.

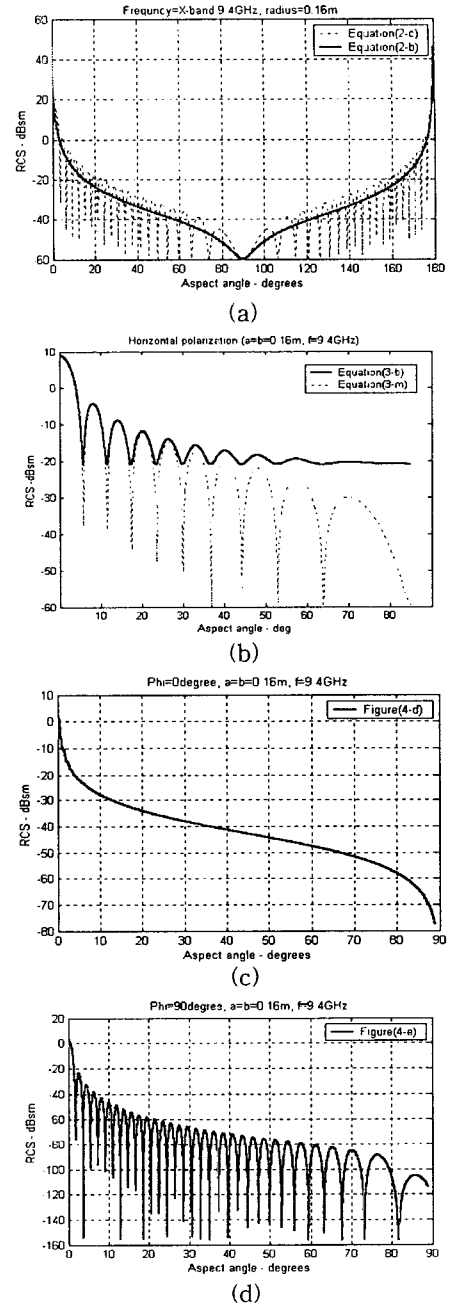


그림 5. 3가지 평판에 대한 RCS 계산결과. (a) 원형평판에 대한 RCS, ((b) 수평 후방산란 σ_H 에 대한 사각 평판의 RCS, (c) 이등변 삼각 평판에 대한 RCS ($\phi = 0$ 도), (d) 이등변 삼각 평판에 대한 RCS ($\phi = 90$ 도).

그림 5에 나타난 RCS 계산결과는 3가지 평판이 모두 대칭이기 때문에 수평각 0도부터 180도 또는 0도부터 90까지만 나타냈다. 프로그램은 MATLAB 6.0을 이용하여 작성하였다. 그림 5를 계산한 조건은, $a = b = 16\text{cm}$, $r = 16\text{cm}$, $\lambda = 3.2\text{cm}$ (9.4GHz) 이다.

그림 5에서, 고각 $\theta = 0$ 도에서 최대 RCS는 원형 평판, 사각평판, 삼각평판으로 나타났다. 그림 5(a)의 원형평판을 보면, 경사각 변화에 따라서 급격한 감쇠를 나타내며, 간격이 좁은 널이 발생하고 있다. 그림 5(b)의 사각 평판은 감쇠현상이 덜하면서 널의 간격이 넓은 것으로 나타났다. 그리고, 그림 5(c)의 $\phi = 0$ 도인 삼각 평판의 경우, 급속한 감쇠 특성을 나타내고, 그림 5(d)의 $\phi = 90$ 도인 경우, 감쇠특성은 $\phi = 0$ 도일 때와 대등하면서 간격이 좁고 깊은 널이 나타나고 있다.

이상의 결과로부터, RCS가 큰 원형평판을 리프랙터로 이용하는 경우에는 경사각 변동에 따른 급격한 감쇠특성에 주의해야하고, 사각평판을 이용하는 경우에는 간격이 넓은 깊은 널에 주의해야하며, 삼각평판의 경우는 경사각 변동에 따른 감쇠특성에 주의해야함을 알 수 있다.

3.3 레이더 리프랙터 RCS

위의 그림 5의 RCS 측정결과는 단순한 형태의 평판에 대한 것으로, 리프랙터를 설계할 때는 이러한 단순한 평판을 직각으로 접합한 후 단일 또는 여러개를 어레이로 형성한다. 그림 6은 이 연구에서 검토한 대표적인 리프랙터 형태를 나타낸다.

그림 6에 나타난 3가지 형태에 대한 RCS 측정 식은 앞에서 기술한 단순한 형태의 레이더 반사체에 대한 RCS 측정 식을 혼합하는 방대한 전개과정을 요하기 때문에 이 연구에서는 다음과 같이 수평방향 각 ϕ 와 고각 θ 의 특정한 범위내에서 최대 RCS (σ_{\max})를 나타내는 식으로 간소화하여 리프랙터 분석을 행하였다.

다음 식(5-a)는 그림 6(a)의 삼각형 트리헤데랄에 대한 RCS(σ_{\max})를 나타내고, 식(5-b)는 그림

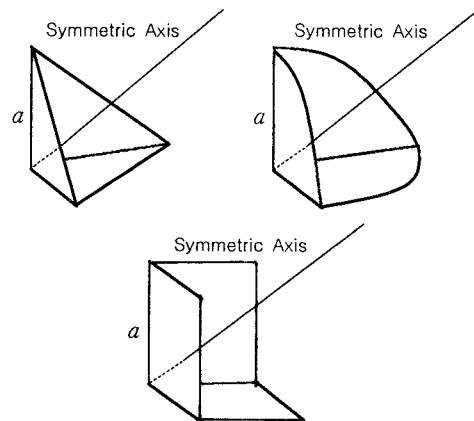


그림 6. 이 연구에서 이용한 3가지 리프랙터 형태. (a) 삼각형 트리헤데랄 형태, (b) 원형 트리헤데랄 형태, (c) 정사각형 트리헤데랄 형태.

6(b)의 원형 트리헤데랄에 대한 RCS(σ_{\max})를 나타내며, 식(5-c)는 정사각형 트리헤데랄에 대한 RCS(σ_{\max})를 나타낸다.

$$\sigma_{\max} = \frac{4\pi a^2}{3\lambda^2} = 4.19 \frac{a^2}{\lambda^2} \dots\dots\dots (5-a)$$

$$\sigma_{\max} = 15.61 \frac{a^2}{\lambda^2} \dots\dots\dots (5-b)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{12\pi a^2}{\lambda^2} = 37.67 \frac{a^2}{\lambda^2} \dots\dots\dots (5-c)$$

위의 식(5-a)부터 식(5-c)를 이용하여, $a = 1.0\text{m}$, $\lambda = 0.032\text{m}$ (9.3GHz)를 예로 들어 계산한 결과를 다음 표 1에 나타냈다.

표 1. 최대 RCS (σ_{\max}) 계산결과.

Type	RCS (σ_{\max})	Angular Response for σ
Triangular Tri-hederal	72.3dBsm	Approximately 40° total cone angle about axis to 1/2 maximum
Circular Tri-hederal	83.7dBsm	Approximately 32° total cone angle about axis to 1/2 maximum
Rectangular Tri-hederal.	91.4dBsm	Approximately 23° total cone angle about axis to 1/2 maximum

표 1의 결과에서, 사각형 트리헤데랄 형태의 리프랙터가 가장 큰 RCS를 나타내고, 다른 2가지 리프랙터 형태보다 각도 응답특성 범위도 넓은 것으로 나타났다. 따라서, 레이더 리프랙터를 개발하는 경우, 사각형 트리헤데랄 형태를 이용하면 좋을 것으로 고려할 수 있다. 이러한 결과는 앞의 그림 5의 결과로부터 예견된 것인데, 실제 선박에 장착하는 경우, 사각형 모서리가 바람에 의하여 크게 흔들릴 수 있고, 로프나 다른 줄에 걸릴 수 있으며, 리프랙터의 방식과 부식을 방지하기 위하여 플라스틱 통에 내장하는 경우 등에 대해서는 실용상 문제점이 많다. 그리고, 최대 RCS에 있어서도 큰 차이가 없기 때문에 원형이나 사각형 트리헤데랄 방식을 고려하는 것이 좋을 것으로 보인다. 보다 최적 조건을 도출하기 위하여 기존에 사용되고 있는 레이더 리프랙터의 형태를 분석하였다.

4. 상용 레이더 리프랙터 구조분석

4.1 트리헤데랄 리프랙터

위의 그림 6에 나타낸 바와 같이 대부분의 레이더 리프랙터는 코너 큐브(corner cube) 또는, 트리헤데랄 리프랙터로 알려진 3면으로 구성된 코너 리프랙터(corner reflector)를 기준으로 다양한 모양을 갖고 있다. 트리헤데랄 리프랙터에서의 반사파는, 리프랙터의 포켓(pocket: 3개의 면이 서로 접해 있는 중심부분)이 레이더 스캐너와 서로 맞대어 있는 상태일 때 가장 강하게 된다. 만약 트리헤데랄 리프랙터가 움직여서 포켓의 축과 레이더 스캐너 축이 서로 어긋나는 경우에 반사파 강도는 약해지는데, 그림 6에 나타낸 바와 같이 다양한 리프랙터의 형태에 따라서 대칭축으로부터 $12^\circ \sim 20^\circ$ 까지의 각도에 대해서 약 절반(즉 -3dB) 만큼 반사파의 강도가 감소된다. 따라서, 선박의 롤과 피칭에 대비한 장치의 개발도 필요하다.

4.2 옥타헤데랄 리프랙터 구조

전형적인 옥타헤데랄 리프랙터(Octahedral Reflec-

tor, 8면을 갖고 있는 리프랙터를 의미)는 그림 7과 같이 3개의 평면원판 또는 사각평판의 금속판을 서로 직각으로 맞대어 8개의 트리헤데랄 리프랙터를 만든 것이다.

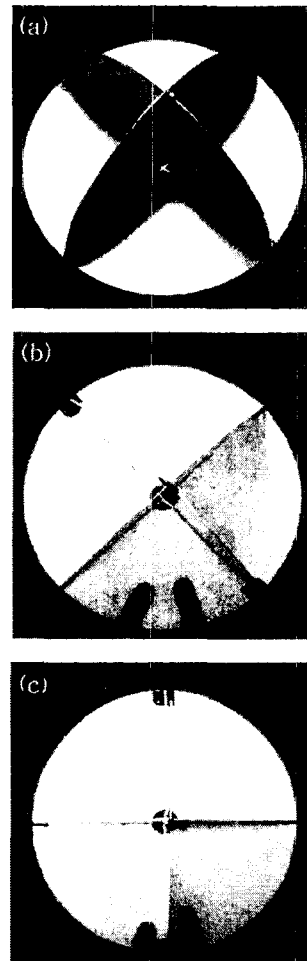


그림 7. 옥타헤데랄 리프랙터와 레이더 스캐너 축 사이의 상대적 위치에 따른 형태. (a) 리프랙터의 포켓이 레이더 스캐너에 대해서 한쪽으로 형성된 캐치-레인(Catch-rain) 상태, (b) 리프랙터의 포켓이 레이더 스캐너에 대해서 양쪽방향으로 형성된 상태 더블 캐치-레인(Double Catch-rain) 상태, (c) 원판의 모서리가 레이더 스캐너로 향해 있는 엣지온(edge-on) 상태.

위의 그림 7(a)과 같이 8개의 트리헤더럴 리프렉터 중 어느 한 개의 리프렉터 중심축이 레이더 스케너로 향해있는 캐치-레인(Catch-rain; 8개의 포켓 중에서 빗물이 모이는 포켓이 한 개만 형성된 상태를 의미) 상태인 경우, 한 쌍의 트리헤더랄이 서로 위 아래로 마주보게되고, 다른 6개의 트리헤더랄은 원 주위에 어레이를 형성된다. 이러한 상태가 될 때, 리프렉터 포켓으로부터의 반사파가 강하게되고, 널(null; 반사파 스펙트럼 피크치 사이에 형성되는 깊은 영점) 또는, 갭(gap: 피크치와 피크치 사이의 간격)을 가능한 방지할 수 있다.

그림 7(a)의 상태에서 경사가 발생하는 경우 중에서 그림 7(b)와 같은 더블 캐치-레인(Double Catch-rain; 8개의 포켓 중에서 빗물이 모이는 포켓이 두개로 형성된 상태를 의미) 상태를 고려할 수 있다. 이 경우, 하나의 평면은 선박의 길이방향에 대해서 수직하게 구성되고, 다른 두 개의 평면은 수직으로부터 $\pm 45^\circ$ 로 형성된다. 또 하나의 경사발생 예로서, 그림 7(c)와 같이 레이더에 대해서 리프렉터 모서리 중 하나가 일직선이 되는 엣지-온(edge-on) 상태가 되면, 이 엣지에서 아주 협소하면서 강한 반사파가 발생함과 동시에 다른 2개의 엣지는 2면을 갖는 다이헤더럴 리프렉터로서 작동하거나 또는, 한면 만이 1면을 갖는 평면판 리프렉터로서 역할을 하게 된다. 이러한 그림 7(b)와 (c)의 경우는 레이더 리프렉터의 반사강도를 저하시킴으로 최대한 이러한 두가지 상태를 방지하도록 리프렉터를 설치하게 된다. 따라서, 리프렉터를 최적으로 설계한 경우라도, 이러한 경사를 최대한 보상할 수 있는 방법이 필요하다.

4.3 상용 리프렉터 분석

(1) 데이비스

데이비스(Davis)사의 Echomaster 리프렉터와 Emergency 리프렉터를 각각 그림 8(a)과 그림 8(b)에 나타냈다. Echomaster 리프렉터는 그림 8(a)에 나타낸 바와 같이 옥타헤데럴 구조를 갖고 있다. Emergency 리프렉터는 폼(foam) 위에 얇은 금속조

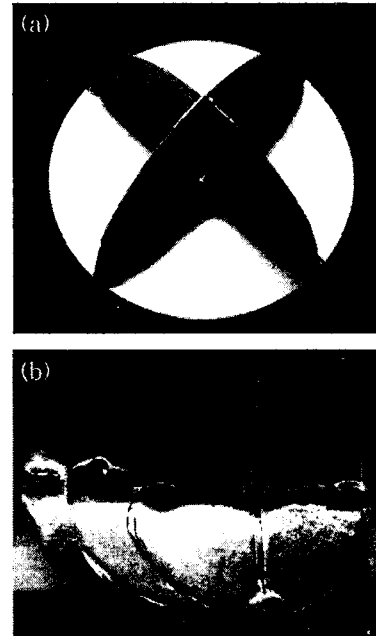


그림 8. (a) 데이비스 사의 Echomaster 제품(Model-153), (b) Emergency 제품(Model-151).

각을 붙여서 제작한 간이형 리프렉터로서, 3개의 원판 조각으로 구성되어 있기 때문에 분해 조립이 가능하여 보편이 용이하다. 그리고, 3개의 원판 조각을 결합하여 사용하도록 구성되어 있기 때문에 원판을 서로 직각으로 정렬하는 것이 성능에 중요한 요소가 된다. Model-153 Echomaster는 직경이 32cm이고, Model-151은 직경이 29cm이다. Echomaster Model-153은 산화금속피막을 증착한 알루미늄 판으로 구성되어 있다. 이 제품은 플라스틱과 금속 꺾쇠(bracket)를 이용하여 리프렉터 판을 교차시키고 있는데, 이 꺾쇠는 리프렉터가 캐치-레인 상태를 유지할 수 있도록 장착하는 보조장치이다 [22].

(2) 화이어델 브리퍼

그림 9와 같은 화이어델 브리퍼(Firedel Blipper) 제품 중에서 모델 210-7과 210-5를 분석하였다. 화이어델 브리퍼 리프렉터는 옥타헤더럴 리프렉터를 사용하지 않고, 트리헤더럴 코너 리프렉터를 채용하고 있다. 옥타헤더럴 리프렉터들이 구(sphere)상에 8개

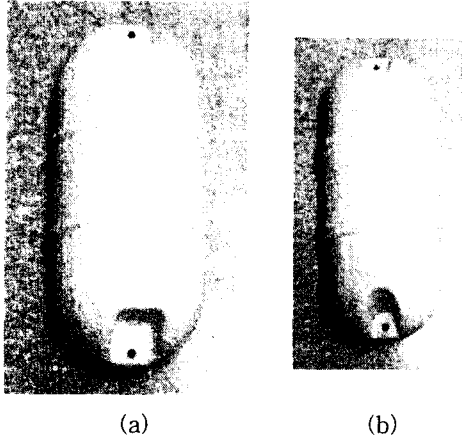


그림 9. 화이어델 블리퍼(Firedell Blipper) 리프렉터. (a) 모델 210-7, (b) Model 210-5.

의 코너 리프렉터를 형성하는데 반하여, 이 제품은 10개의 트리헤더럴 코너 리프렉터를 사용하고 있으며, 코너 리프렉터가 서로 약 36° 간격으로 정렬되어 있다. 이 제품은 이론적으로 옥타헤데럴 형태의 리프렉터가 규칙적으로 배열됨에 따라 발생하는 깊은 널(null)을 방지하기 위한 형태로 적당하다. 그러나, 코너 리프렉터를 패키지(package)로 만들기 위해서 각각의 코너 리프렉터 크기를 작게 해야 하는 문제점을 갖고 있다 [23].

(3) 모브리

모브리(Mobri) 원통형 리프렉터는 두 가지 종류의 지름을 갖는 제품이 있다. 이 두 가지 원통형의 리프렉터는 트리헤더럴 제품의 변형으로서 직경 10.24cm (Model S-4)와 5.12cm (Model S-2)의 실린더에 장착되어 있다. 레이더 빔이 정확하게 직각으로 입사되는 경우 이들 제품은 다이헤데럴 리프렉터와 같은 성능을 발휘하지만, 경사각이 조금만 발생하더라도 깊은 널(null)을 만들어서 반사파가 상당히 감소 되는 단점이 있다. 모브리 원통형 리프렉터는, 각 트리헤더럴의 반사면적이 X-band 레이더에 효과적으로 작용하기에는 너무 작다. 직경 5.12cm 모브리사의 리프렉터 경우에는 각 다이헤데럴 리프렉터가 반경 2.56cm를 갖기 때문에 X-band

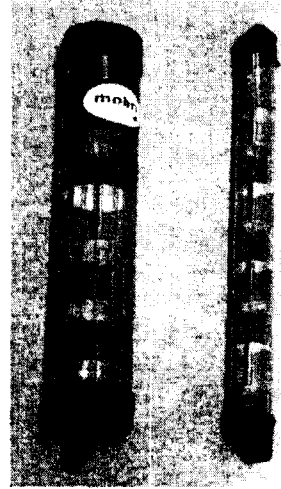


그림 10. 모브리(Mobri) 원통형 리프렉터. (좌) 모델 S-4 직경, (우) 모델 S-2.

레이더 파장 보다 작다. 또한, 작은 경사각도에 대해서도 엷지-온 상태가 쉽게 되어버리는 문제점이 있다. 이 리프렉터는 소형 세일링 보트에 주로 사용하며, 실린더를 위와 아래로 장착하거나 줄이나 기둥에 장착할 수 있는 설비가 구비되어 있다 [24].

(4) 시크롭스

시크롭스(Cyclops) 리프렉터는 표준 옥타헤드럴 리프렉터와 전면과 후면부에 설치한 2개의 다이 일렉트릭 렌즈(di-electric lens)를 갖고 있다. 이 렌즈는 영국군사연구편제(British Admiralty Research Establishment)에서 개발한 것으로, 마치 고양이와 눈처럼 입력된 에너지를 반사시키는 작용을 한다. 이 렌즈는 영국이 포크랜드 전쟁시 엑소세 미사일을 회피시킬 목적으로 개발한 것으로 루네버그 렌즈(Luneberg Lens)로 불리고 있으며, 전쟁 후 일반 상업용으로 개발한 것이 시크롭스 리프렉터이다. 시크롭스 리프렉터는 Cyclops-1, Cyclops-2, Cyclops-3 등 3종류가 있다. 그림 11에 3종류 모델에 대한 외형 사진을 나타냈다.

시크롭스 리프렉터는 마스트 꼭대기의 등(light) 위에 장착하도록 설계되어 있으며, 플라스틱 돔 형태로 밀봉되어 있다. 문제점으로는, 루네버그 렌즈가

효과적으로 전파를 반사할 수 있는 밴드가 정해져 있기 때문에 경사각에 제한이 있다. 약 18°이상의 경사각에 대해서는, 전파반사가 중지된다. 루네버그 렌즈의 밴드폭을 더 넓히면 되지만, 가격이 비싸지기 때문에 짐발장치를 사용하여 경사에 대한 문제점을 해결하는 방법이 대안으로 제시되고 있다 [25].

(5) 트리렌즈

트리렌즈 (Tri-Lens) 리프렉터 역시 시크롭스 리프렉터와 같이 루네버그 렌즈를 채용하고 있다. 이 트리렌즈 리프렉터는 직경이 13.4cm 인데 31cm 의 알루미늄 코너 리프렉터와 대등한 RCS를 갖고 있는 것으로 소개되고 있다. 트리렌즈는 Tri-Lens 리프렉터와 Mini Tri-Lens 리프렉터 등 2가지 종류를 갖고 있다. 그림 12에 이들 2가지 리프렉터의 외형 사진을 나타냈다.

Tri-Lens 리프렉터는 2~4m'의 RCS 특성을 갖

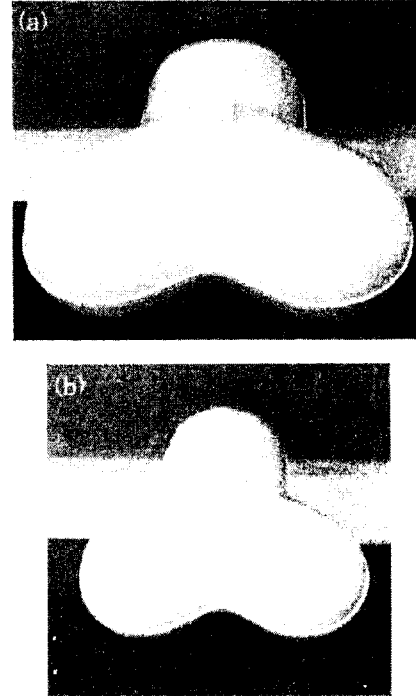


그림 12. 트리렌즈 리프렉터. (a) Tri-Lens 리프렉터, (b) Mini Tri-Lens 리프렉터.

고, Mini Tri-Lens 리프렉터는 0.6~1.0m'의 RCS 특성을 갖고 있다. 모두 X-band 레이더에 대해서 330도 방위응답 특성을 갖는다. 그리고, 마스트에 장착하기 용이한 보조기구를 제공하고 있다. 문제점으로는 시크롭스 리프렉터와 동일하게 작은 경사에 대해서 RCS 감도가 쉽게 저하된다 [26].

(6) 레이더 플래그

그림 13에 나타낸 레이더 플래그(Radar Flag)은 단지 경사각도가 0도인 경우에만 효과적으로 전파를 반사시킨다. 레이더 플래그는 명칭 그대로 천으로 만들어진 기(flag) 내부에 전파반사 물질을 삽입한 것으로, 플래그가 접혀지거나 레이더 전파방향과 플래그의 면이 일직선으로 놓이게 되는 경우 0.4m' 정도의 아주 약한 전파반사특성을 나타내는 문제점이 있다. 레이더 플래그는 거의 크기에 따라 다양한 종류가 있다. 레이더 플래그는 일반 성조기와 같이 선박 후미의

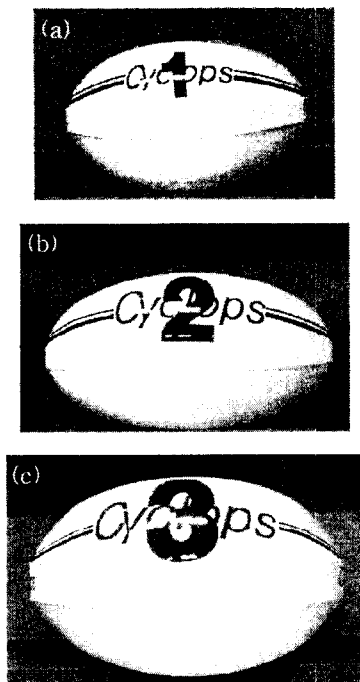


그림 11 (a) 시크롭스 리프렉터의 3가지 모델. (a) Cyclops-1, (b) Cyclops-2, (c) Cyclops-3.

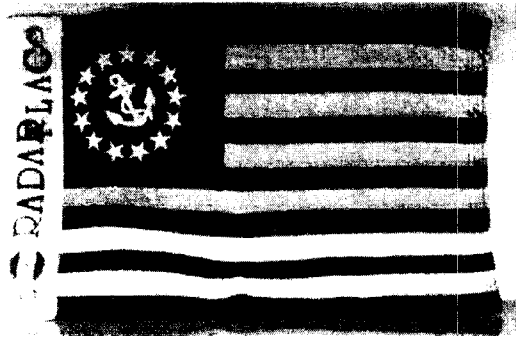


그림 13. 레이더 플랙 리프랙터.

깃발로서 사용하면서 동시에 레이더 리프랙터 기능을 할 수 있도록 제작한 것으로, 깃발은 나일론 제품이고, 금속천의 무게를 견디도록 박음질이 튼튼하게 되어 있다 [27].

4.4 RCS 분석

위에서 기술한 내용은 모두 해당 리프랙터 제작 회사에서 제공하는 자료에 기재된 내용으로서, 그 신빙성에 대해서는 직접 해당 리프랙터를 전파흡수 실이나 해상실험을 통하여 직접 평가해야 할 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 평가에 관한 연구는 다음과제로 남겨두고, 이 연구에서는 우선, 기존에 다른 연구그룹에서 이러한 제품들을 분석한 결과[28]를 참고하여 리프랙터의 성능과 특징을 조사하여 표 3에 나타냈다.

표 3은 직접 전파흡수실에서 측정된 자료 중에서 가장 RCS가 우수한 순위로 나열한 것이다. 표 3은 X-band와 S-band 등 2가지 밴드에 대해서 측정된 것이다. X-band 로 분류된 항목에서 다시 3개로 구분한 항목 중, 첫 번째 세로줄은 360도 모든 방향 중에서 측정된 RCS가 문턱치 2.5m² 보다 큰 값으로 나타나는 방향에 대한 퍼센테이지(%)를 나타내는데, 이 퍼센테이지는 리프랙터의 가시가능(visibility)을 나타내거나, 또는 미지의 수평 각도에서 어떤 선박에 의해서 리프랙터가 장착된 선박이 다른 선박의 레이더에 탐지될 수 있는 확률을 의미한다. 두 번째 세로줄은 RCS가 2.5m² 이상인 값에 대해서만

계산한 리프랙터의 평균 RCS를 나타낸다. 세 번째 세로줄은 RCS 문턱치 보다 측정된 RCS가 작은 값 중에서 가장 큰 방향을 나타내는데, 이 것은 가장 큰 그늘지점(blind spot)의 각도 폭을 나타낸다.

그리고, S-band 로 분류된 항목에서 다시 3개로 구분한 항목 중, 첫 번째 세로줄은 360도 모든 방향 중에서 측정된 RCS가 문턱치 1.0m² 보다 큰 값으로 나타나는 방향에 대한 퍼센테이지(%)를 나타내는데, 이 퍼센테이지의 의미는 X-band의 경우와 같다. 두 번째 세로줄은 RCS가 1.0m² 이상인 값에 대해서만 계산한 리프랙터의 평균 RCS를 나타내고, 세 번째 세로줄은 X-band의 세 번째 줄과 동일한 의미를 갖는다. S-band의 경우, 최소 문턱치로서 1.0m²을 사용했는데, 이 값은 해상에서 S-band가 갖는 4dB 감쇠 반사특성을 고려했을 때 S-band에서 탐지 가능한 최소한의 반사특성을 의미한다.

표 3의 결과를 보면, Davis Echomaster를 Vertex-up 즉, 엷지-온 상태일 때 가장 우수한 것으로 나타났으며, 2위가 이중 켓치-레인 상태일 때로 나타났다. Davis Echomaster 가 엷지-온 상태일 때 최상의 결과가 된 것은 잘못된 결과로 해석할 수 있다. 그 이유는 앞에서 기술한 바와 같이 레이더 리프랙터가 최대한의 성능을 발휘하기 위해서는 켓치-레인 상태인 경우이기 때문이다. 또한, 이중 켓치-레인 상태인 경우도 마찬가지이다. 이러한 결과에 대한 원인은 육상 실험실에서 경사각이 없는 상태에서 측정했기 때문이고, 표 3의 참고에 나타난 바와 같이 작은 경사각에 대해서도 1순위 결과는 민감한 반응을 나타내는 것으로 보고되어 있다. 따라서, 360도 전방위에 대해서 우수한 특성을 나타내기 위해서는 켓치-레인 상태를 유지해야할 것이다. 이와 같은 작은 경사각에 대해서 Davis Echomaster의 RCS가 감소되는 이유는 Davis Echomaster에 장착한 옥타헤드랄 리프랙터가 깊은 널(null)을 발생하기 때문으로 분석된다.

Davis Echomaster 제품의 평균 RCS는 리프랙터를 수직으로 세운 상태, 즉 경사가 없는 상태에서 5.0m² 이상이고, 경사각을 20°로 주었을 때는 4.5m²

정도였다. 그러나, 가시가능화 상태는 50% 정도로서 그다지 크지 않다. 그리고, S-band의 경우는 X-band와 비교하여 상대적으로 성능이 작은 결과를 나타내고 있다.

한편, 표 3에서 Firdell Blipper 제품의 성능이 저조한데, 이러한 결과는 지금까지 이 제품이 유명한 것과는 다른 결과를 나타내고 있다. 경사각 없이 X-band를 측정했을 때, 210-7 모델은 대부분의 소형선박에 적합한 것으로 알려진 것과는 달리 단지 수평면에서 11%의 가시화를 나타냈다. 이러한 Firdell Blipper 제품의 평균 RCS는 1.66m²로서 최대 값은 40°이상으로 나타났다. S-band의 경우 경사각 0°에서 가시화 부분은 26%로서 2순위와 3순위의

Davis Echomaster 보다 향상된 결과를 나타내고 있다.

Radar Flag은 비교결과 하위 순위에 속해있다. Radar Flag는 기(flag)의 평면에 대해서 입사파가 수직인 상태로 될 때 매우 강한 반사특성을 나타냈지만, 그 외의 각도에서는 거의 반사파는 발생하지 않는 것으로 나타났다. RCS 문턱치 이상의 가시화 가능한 것은 단지 9% 뿐이다. 기가 늘어진 일반적인 상태에서는 근본적으로 가시화 상태가 나타나지 않고, 단지 0.4m²의 RCS 만을 나타냈으며, 어느 각도에서도 문턱치를 넘는 것은 없다.

Davis Emergency 리프랙터의 경우는 표 3에 나타난 바와 같이 실험에 사용한 제품 중에서 마지막

표 3. 상용 리프랙터들의 RCS 측정결과에 따른 순위

Target Reflector	Condition		Measuring Results					
	Attitude	Heel (degree)	X-Band			S-Band		
			RCS(%) (>2.5m ²)	Averaged RCS(m ²) (>2.5m ²)	Gap (degree)	RCS (%) (>2.5m ²)	Averaged RCS(m ²) (>2.5m ²)	Gap (degree)
Davis Echomaster	Vertex-up	0	63 ¹⁾	7.00	17	57	1.71	21
Davis Echomaster	Double Catch-rain	0	48	5.05	31	13	0.90	78
Davis Echomaster	Double Catch-rain	20	43	4.54	36	19	1.02	78
Davis Echomaster	Catch-rain	0	26	2.00	54	0	0.49	-
Davis Echomaster	Vertex-up	10	19 ¹⁾	3.81	85	11	0.89	142
Davis Echomaster	Vertex-up	20	13 ¹⁾	3.52	85	20	1.03	79
Firedell Blipper 210-7	Vertex-up	0	11	1.66	43	26	0.74	66
Radar Flag	Flat	0	9	3.89	157	11	3.38	149
Davis Emergency	Catch-rain	0	2	1.25	117	0	0.30	-
Mobri S-4	Vertex-up	0	0 ¹⁾	1.08	-	0	0.46	-
Cyclops-1	Vertex-up	0	0	0.57	-	0	0.22	-
Cyclops-1	Vertex-up	20	0	0.52	-	0	0.24	-
Radar Flag	Draped	0	0	0.40	-	6	0.38	169
Mobri S-4	Vertex-up	0	0 ¹⁾	0.37	-	0	0.17	-
Mobri S-2	Vertex-up	0	0 ¹⁾	0.22	-	0	0.16	-
Mobri S-2	Vertex-up	0	0 ¹⁾	0.07	-	0	0.04	-

참고: 1)은 경사각에 대해서 민감하게 반응을 나타내는 것을 표시함.

으로 RCS 문턱치 이상의 반사강도를 나타내고 있으며, 같은 회사의 Davis Echomaster 보다 성능이 현격하게 감소된 형태를 나타내고 있다.

그리고, 다른 제품들은 일반적으로 크기가 작기 때문에 RCS 문턱치 이하의 값을 나타내어 가시화 정도는 0% 로 나타났다. 2개의 Mobri 리프랙터의 경우 예상했던 바와 같이, 근본적으로 가시화가 불가능하다. 단지, X-band에서 모델 S-4 만이 근거리에서 탐지가능하고, 0°경사에서 단지 1m² 이상의 RCS를 나타내고 있다. 그리고, S-band에서는 평균 RCS가 0.5m²로서, 거의 탐지 불가능한 상태를 나타내고 있다. 아울러 경사가 발생하는 경우에 성능이 급격히 감소되는 것으로 나타났다. 더 작은 Mobri 리프랙터 모델 S-2의 경우는 모든 조건에서 가시화가 불가능하여 마치 스텔스 폭격기와 같은 특성을 나타내고 있다.

4.5 검토

다양한 상업용 리프랙터는 물론, 레이더 반사 형태에 대해서 조사한 결과, 리프랙터의 RCS를 증가 방법으로 리프랙터의 크기를 대체할 수 있는 물질이나 방식은 없는 것으로 조사되었다. 최근에 성능이 우수하다고 보고된 루네버그의 렌즈를 이용한 시크롭스 리프랙터의 경우, 기존 옥타헤드랄 방식의 Davis Echomaster 리프랙터 보다 RCS가 작은 결과를 나타냈다. 따라서, 리프랙터의 RCS를 증가하기 위해서는 리프랙터 크기를 크게 하든가 루네버그 외의 다른 새로운 물질을 개발해야함을 알 수 있다.

그리고, Firdell Blipper 리프랙터의 경우, 우수한 제품으로 알려져 있는 것에 비하여 실험결과는 열악한 결과를 나타냈다. 또한, 이중 컷치-레인(double catch-rain) 위치에서 Davis Echomaster 리프랙터가 가장 우수한 특성을 나타냈지만, 작은 경사각에 대해서도 RCS가 크게 변동하기 때문에 이에 대한 대책이 요구된다. 그리고, S-band 리프랙터만으로는 연안환경에서 효과적으로 레이더에 탐지될 수 없음을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하면, 최적의 리프랙터는 Davis

Echomaster 제품과 같이 옥타헤드랄(Octahedral) 형태를 갖으며, 최소한 반경이 16cm 이상이면서 산화금속피막을 증착한 알루미늄 판으로 리프랙터를 설계하는 것이 현재의 기술로는 최적임을 알 수 있다. 한편, Radar Flag의 경우는 소형선박의 기를 대신하면서 리프랙터 기능을 갖을 수 있기 때문에 영세하면서 출항시 풍어를 기약하는 의미에서 많은 기를 선박에 설치하는 국내 어업환경을 고려하면 적극 개발해야할 유형의 리프랙터로 고려할 수 있다. 아울러 모든 리프랙터가 경사각에 대해서 RCS가 저해되는 특성을 보상하기 위한 특수한 집발장치의 개발이 요구된다. 자이로컴파스나 마그네틱 콤파스에 적용하는 3축 집발장치를 적극 고려할 필요가 있다.

5. 결 론

이 연구에서는 소형선박의 항해안전을 확보하기 위한 하나의 대안으로, 레이더 리프랙터를 선박에 장착하기 위한 기초 이론 개발과 분석을 시도하였다. 다양한 레이더 반사형태에 대한 RCS 이론 식을 정립하고, 리프랙터 유형별 RCS 측정식을 정립하여 시뮬레이션을 통한 분석과 상용 제품에 대한 분석 행한 결과는 다음과 같다.

- (1) 현재까지 연구 개발된 리프랙터는 리프랙터의 크기를 대체할 만큼 유용한 형태나 물질이 없기 때문에 리프랙터 크기를 X-band 레이더의 10λ 이상이 되어야함을 알았다.
- (2) 시뮬레이션 결과, 원형, 사각형, 삼각형의 레이더 반사체 중에서 사각형 반사체가 가장 큰 RCS를 나타냈지만, 실용상 선박에 적용하는 경우에는 원형이나 삼각형 반사체를 이용하여 트리헤드랄이나 옥타헤드랄 형태의 리프랙터로 개발하는 것이 최적임을 알았다.
- (3) 상용 리프랙터에 대한 조사분석 결과, 10λ 정도 크기의 S-band 리프랙터만으로는 연안 환경에서 효과적으로 레이더에 탐지될 수 없음을 알았다. 따라서, S-band 용은 더욱 리프랙터의 크기를 증가해야만 레이더에 탐지

될 수 있음을 알았다.

- (4) 리프랙터를 캐치-레인 (catch-rain) 상태가 RCS를 최대한 발생시키는 자세임을 알았다. 따라서, 리프랙터 설계와 함께 짐발장치를 개발함을 알았다.
- (5) 현존하는 기술로는 옥타헤드랄(Octahedral) 형태의 리프랙터로서, 최소한 직경이 32cm (X-band의 10λ) 이상이면서 산화금속피막을 증착한 알루미늄 판으로 리프랙터를 구성하는 것이 우선은 최적임을 알았다.
- (6) 그리고, Radar Flag을 하나의 리프랙터로 활용하는 방안도 국내 어업환경에 비추어 볼 때 유효할 것으로 고려되었다.

향후, 이 연구결과를 토대로 레이더 리프랙터를 제작하여 전파무향실 실험을 통한 후 해상에서의 유효성을 분석할 예정이다. 또한, 이러한 기존 리프랙터 형태의 개발 이외에도 새로운 형태의 리프랙터를 설계하고, 분석 방법을 개발할 예정이며, 경사각에 따른 RCS 변동을 줄이기 위한 짐발장치도 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

- 1) 동해지방해양안전심판원, 동해안 오징어 채취기 어선 해양사고 예방대책, 2000, URL://www.maia.go.kr.
- 2) 해양수산부 오공관, 늘어나는 어선해양사고 정부가 나선다, 2000, URL://www.maia.go.kr.
- 3) 해양수산부, 2000년도 해양사고 분석 및 평가, URL://www.momaf.go.kr.
- 4) 임정빈 외 4인, 해양수산부 수산특정과제 연구개발계획서-어업용 레이더 리프랙터 개발, 2001.9.
- 5) Rozendal Associates, *Radar Reflectors*, URL://www.strandnet.com.
- 6) Bassem R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. Chapman & Hall/CRC, 2000, pp71-140.
- 7) 한국선급, 국제해사기구 제46차 항해안전소위원회 회(NAV) 회의참가보고서, 2000.7
- 8) 부성원, "함정 RCS 감소와 위협회피 효과," 제2회 해상무기체계 발전 세미나, pp.115-121, 1998.
- 9) 김종규 외 3인, "스트립격자 구조를 이용한 RCS 감소기법 연구," 제2회 해상무기체계 발전 세미나, pp.375-378, 1998.
- 10) 허성필, "함정 스텔스화의 경제성분석 방법론," 제4회 해양과학기술 심포지움 논문집, pp.88-104, 1998.
- 11) North Sea Navigation Inc., *Lightning Prevention Systems Specifications*, URL://www.northseanavigator.com.
- 12) Eugene F. Knott, *Radar Cross Section Measurement*, Van Nostrand Reinhold, 1993, pp.1-26. //RCS 기초
- 13) Merrill L. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw Hill, 2001, pp.30-98.
- 14) 이준호 2인, "Shaping을 통한 RCS 감소방안 연구," 제4회 해양과학기술 심포지움 논문집, pp. 71-86, 1998.
- 15) 김경태 외 5인, "RCS 증상분석을 위한 ISAR 영상기법에 대한 연구," 제2회 해상무기체계 발전 세미나, pp.379-384, 1998.
- 16) Sni Fifth Annual Event, *RCS Modeling and Analysis*, 2001.8, URL://www.naval-technology.com.
- 17) CSSDENMARK, *Radar Cross Section Simulation Software for Stealth Assessment*, URL://www.naval-technology.com.
- 18) National Institute of Standard Technology, *Metrology for Radar Cross Section Systems*, URL://www.boulder.nist.gov.
- 19) Ohio University, *Current Reaseach: Compact Radar Measurement Range*, URL://esl.eng.ohio-state.edu.
- 20) Ohio University, *Antenna/RCS Measurement Workshop*, June, 2001, URL://esl.eng.

- ohio-state.edu.
- 21) Asoke K. Bhattacharyya, and D.L. Sengupta, *Radar Cross Section Analysis & Control*, Artech House, 1991, pp1-140.
- 22) Davis, *Davis Echomaster & Emergency*, URL://www.davisnet.com.
- 23) Landfall Navigation, *Firedell Blipper Reflector*, URL://www.landfallnavigation.com.
- 24) Landfall Navigation, *Mobri Cylindrical Radar Reflector*, URL://www.landfallnavigation.com.
- 26) Tri-lens Inc., *The Tri-Lens Radar Reflector*, URL://www.tri-lens.com.
- 25) North Sea Navigator, Inc, *Cyclops Models and Specifications*, URL://www.northseanavigator.com.
- 27) Radar Flag, *Radar Flag*, URL://www.ladarflag.com.
- 28) Jim Coreman, Chuck Hawley, Dick Honey and Stan Honey, *1995 Radar Reflector Test*, URL://www.ussailing.org.